

Simulating gait in patients with knee osteoarthritis

Citation for published version (APA):

Oomen, P. (2019). *Simulating gait in patients with knee osteoarthritis*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. ProefschriftMaken Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20190131po>

Document status and date:

Published: 01/01/2019

DOI:

[10.26481/dis.20190131po](https://doi.org/10.26481/dis.20190131po)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Samenvatting

Knieartrose is een aandoening waarbij het kraakbeen in de knie wordt aangetast. Ruim één op de tien mensen boven de leeftijd van 55 jaar heeft klachten aan de knie die veroorzaakt worden door knieartrose. De klachten die patiënten ervaren zijn pijn bij het uitvoeren van dagelijkse taken, zoals opstaan, lopen en traplopen. Het risico op het ontwikkelen van knieartrose wordt verhoogd door een hoog lichaamsgewicht, het vrouwelijk geslacht, een hogere leeftijd en met name boven de 50 jaar, een eerder trauma aan de knie of een afwijkende stand (varus) van de knie.

In het ontstaan en de verergering van knieartrose spelen biomechanische componenten een belangrijke rol. Gewrichtskrachten en -momenten kunnen worden bepaald door middel van gangbeeldanalyse. Bij het ontstaan en verergeren van knieartrose wordt in de literatuur het knie adductiemoment als een belangrijke maatstaf genoemd. Bij een hoog knie adductiemoment neemt de belasting aan de binnenkant van de knie toe. In een vroeg stadium van knieartrose kan al een hoger knie adductiemoment in de knie worden ontdekt. Met behulp van bewegingsanalyse zou men ook strategieën kunnen toetsen die de belasting in de knie trachten te reduceren.

Voor de daadwerkelijke belasting op het gewricht is echter ook informatie nodig van interne spier- en ligamentskrachten, welke niet worden meegenomen in gangbeeldanalyse. Computermodellen hebben wel de potentie om de functie van het complexe bewegingsapparaat te simuleren, waardoor de belasting op interne structuren kan worden onderzocht. Daarnaast zijn computermodellen in staat om “wat als” vragen te beantwoorden. Met andere woorden, computermodellen kunnen virtuele experimenten uitvoeren die moeilijk, onethisch of te duur zijn om in de realiteit uit te voeren.

Deze computersimulaties zijn afhankelijk van de gegeven input parameters, zoals bot geometrie, spiervolume, spiervezellengte, peeslengte en spieraanhechtingen. Tot op heden worden veel van deze input parameters uit kadavermetingen gehaald. Vervolgens wordt het model specifiek gemaakt door antropometrische persoonskenmerken, zoals lengte en gewicht, toe te voegen of een schalingsfactor toe te passen. Een andere mogelijkheid om het model persoonsspecifiek te maken is door beeldvormende technieken zoals MRI te gebruiken.

Het doel van dit proefschrift is om meer inzicht te krijgen in de belasting van het kniegewricht tijdens lopen bij patiënten met knieartrose, en om kniebelasting beter te voorspellen met behulp van persoonsspecifieke computermodellen.

In **hoofdstuk 2** werd onderzocht in welke mate de knie wordt belast bij mensen met beginnende knieartrose en welke rol een hoog lichaamsgewicht heeft in deze kniebelasting. Hiervoor werd traditionele gangbeeldanalyse gebruikt om kniebelasting te meten tijdens het lopen. Drie groepen werden vergeleken: patiënten met knieartrose en ernstig overgewicht, patiënten met een gezond gewicht en gezonde vrijwilligers met een gezond gewicht. Hieruit bleek dat voornamelijk de combinatie van ernstig overgewicht en de aanwezigheid van knieartrose een verhoging van het knie adductiemoment veroorzaakte. Bij de slanke knieartrose patiënten was het knie adductiemoment vrijwel gelijk aan de gezonde vrijwilligers.

Hoofdstuk 3 beschreef dat een computermodel additionele informatie kon geven over de kniebelasting ten opzichte van gangbeeldanalyse. De resultaten uit dit hoofdstuk lieten zien dat de medio-laterale gewrichts kracht bij patiënten met knieartrose en een gezond gewicht hoger was dan bij gezonde vrijwilligers, terwijl het externe knie adductiemoment gelijk was tussen deze groepen.

Voor het personaliseren van computermodellen werd in **hoofdstuk 4** een nieuwe methode van krachtschaling gepresenteerd en geëvalueerd. Door middel van krachtschaling worden meerdere spieren met eenzelfde factor vermenigvuldigd om het model persoonsspecifiek te maken. Onafhankelijk van lengte, gewicht en vetpercentage bleken onder andere leeftijd en geslacht een belangrijke determinant van maximale kracht. Door deze nieuwe krachtschalingsmethode kon op eenvoudige wijze het computermodel persoonsspecifieker gemaakt worden.

In **hoofdstuk 5** werd onderzocht in hoeverre individuele spiervolumes bepaald kunnen worden door middel van beeldvormende technieken en in welke mate deze afwijken van datasets in de literatuur. Door gebruik te maken van beeldvorming met magnetische resonantie waren we in staat om bij één individu de meeste spieren te onderscheiden. De gemeten spiervolumes resulteerden in grotere waarden dan in de literatuur werden vermeld, wat verklaard kon worden doordat datasets in de literatuur gebruik maakten van oudere personen, bij wie sprake kan zijn van afname van spiervolume. Voor een betere vergelijking hebben we daarnaast de relatieve spiergrootten uitgerekend ten opzicht van de som van de quadriceps en hamstring spiervolumes. Na deze correctie bleek de relatieve spiergrootte vrijwel gelijk aan andere datasets uit de literatuur.

In **hoofdstuk 6** werd onderzocht welk effect het personaliseren van spierkracht heeft op de voorspelling van het computermodel tijdens lopen. In deze explorerende studie hebben we verschillende soorten personalisatiemethoden toegepast en werden modeluitkomsten vergeleken. De resultaten lieten grote verschillen zien in spiervolumes

tussen de verschillende personalisatiemethoden. Echter, ondanks deze grote verschillen in individuele spiervolumes resulteerden de verschillende methoden in ongeveer dezelfde gewrichtskrachten. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de aanpassing in spiervolume werd gecompenseerd door een hogere activiteit van dezelfde spier, waardoor de absolute spierkrachten en daardoor ook de gewrichtskrachten gelijk bleven.

In **hoofdstuk 7** zijn de belangrijkste bevindingen van dit proefschrift beschreven en in de context geplaatst van de huidige literatuur. Daarnaast werden in dit hoofdstuk perspectieven gepresenteerd voor toekomstig onderzoek.

De resultaten in dit proefschrift beschreven dat patiënten met knieartrose in combinatie met ernstig overgewicht een groter knie adductiemoment hadden tijdens lopen dan patiënten met een gezond gewicht. Hierdoor nam de belasting aan de binnenkant van de knie bij deze patiënten toe. Interventies die zich richten op gewichtsverlies in de patiënt met ernstig overgewicht zouden daarom een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan een afname van de gewrichtsbelasting. Patiënten met een gezond gewicht hadden een vergelijkbaar knie adductiemoment in vergelijking met gezonde vrijwilligers. De interne belasting, zoals werd voorspeld met computersimulaties, lieten echter een verschil zien tussen deze groepen. Het is daarom belangrijk dat men rekening houdt dat de belasting, zoals bepaald wordt met bewegingsanalyse, niet altijd overeenkomt met de interne gewrichtskrachten.

Het persoonsspecifiek maken van de maximale spierkracht droeg bij aan een accurater computermodel. Zowel het gebruik van een uniforme schaal als beeldvormende technieken konden hiertoe bijdragen. Een schaafactor is eenvoudig in het gebruik, waardoor deze techniek direct klinisch toepasbaar is. Echter, beeldvormende technieken zijn nauwkeuriger. De keuze van personalisatietechniek binnen computermodellen is dus afhankelijk van de mate van accuraatheid die benodigd is.

Summary

Knee osteoarthritis is the main cause of disability in elderly and is characterized by degeneration of knee cartilage. Ten percent of elderly above 55 years have disabling symptoms, for example, pain during daily activities as walking, rising from a chair and stair ambulation. A complex combination of risk factors is associated with knee osteoarthritis; they include a high body mass, the female gender, aged above 50 years, previous trauma and a varus deformity at the knee.

Furthermore, biomechanical mechanisms have an important role in understanding the initiation and progression of knee osteoarthritis. Measuring joint forces and moments using gait analysis can aid in the early detection of deviating knee joint loading. The knee adduction moment is an often used parameter to indicate the amount (and excess) of medial knee loading. Furthermore, gait analyses offer the possibility to investigate possible coping strategies in order to reduce the knee adduction moment.

Although gait analyses provided increased knowledge on pathomechanics, it is unable to determine internal knee forces. Therefore, information on ligament and muscle forces is required. Computer models offer the opportunity to simulate the musculoskeletal system, including the effect of external stimuli on internal structures. Furthermore, musculoskeletal models are able to answer “what if” questions. Moreover, these computer models can perform virtual experiments that are difficult, expensive or not ethical to perform in real life experiments.

In order to predict accurate knee loading musculoskeletal computer models dependent on reliable input parameters, such as muscle volume, bone geometry, muscle fibre length, tendon length and insertion points. To date, these parameters are derived from cadaveric measurements. In order to retrieve accurate outcomes, personalisation of these models is needed by adding anthropometrical parameters (e.g. height and mass), or estimating parameters by generic scaling. Moreover, imaging can be introduced for obtaining accurate subject-specific parameters.

The aim of this thesis is to improve our knowledge regarding knee joint loading in patients with knee osteoarthritis; and to better predict knee joint loading by personalised musculoskeletal models.

In **chapter 2**, knee loading during walking was examined in patients with knee osteoarthritis. Furthermore, the effect of high body mass and walking speed on knee loading was evaluated. Three homogeneous groups were included: obese patients with

knee osteoarthritis, lean patients and lean healthy volunteers. Obese patients with knee osteoarthritis showed a significant increased knee adduction moment compared to lean patients. Furthermore, lean patients walked with similar knee adduction moments compared to lean healthy volunteers.

In **chapter 3** a subset of the dataset of chapter 2 was used for further evaluation. Musculoskeletal models were able to show differences in knee loading between lean patients with knee osteoarthritis and healthy volunteers. Although, similar knee adduction moments were measured using gait analysis, musculoskeletal models showed significant increased mediolateral knee forces.

A new scaling method for personalising muscle strength in musculoskeletal models is presented and evaluated in **chapter 4**. In strength scaling several or all muscles are multiplied by a single factor in order to personalise musculoskeletal models. Current scaling methods use body mass, height and fat percentage, disregarding other variables (e.g. age and gender) that are independent determinants of muscle strength. Therefore, a personalised model incorporating these parameters could increase personalisation of musculoskeletal models.

Chapter 5 describes the possibility of obtaining individual muscle volumes using imaging. Moreover, a dataset derived from imaging was compared with available datasets from literature. Using magnetic resonance imaging (MRI) we were able to distinct most individual muscles. The muscle volumes were higher compared to cadaveric datasets, which could be explained by an age related hypotrophy in the cadaveric datasets. For comparison reasons we calculated muscle volume relative to total muscle volume of the quadriceps and hamstring muscles. These results showed that relative muscle size between muscles was almost similar compared to the cadaveric datasets.

Chapter 6 describes the effect of personalisation muscle strength on model predictions during walking. In a proof-of-concept study we implemented several personalisation techniques (i.e. strength scaling and MRI derived muscle volumes) and compared model outcomes. The personalisation techniques resulted in large differences in muscle volumes, whilst comparable joint forces were predicted. A possible explanation is that an increase in muscle activity compensated for the decreased muscle volume, resulting in similar absolute muscle forces and similar joint forces.

Chapter 7 discussed the key findings in a broader perspective, including their relation to current literature. Furthermore, this chapter contains future perspectives on improving personalised musculoskeletal models.

This dissertation describes that obese patients with knee osteoarthritis walk with higher knee adduction moments compared to lean patients. Interventions targeting weight loss could significantly reduce knee joint loading. Lean patients had similar knee adduction moment compared to healthy, weight-matched volunteers. Meanwhile, applying musculoskeletal models we found significant differences in internal knee loading between lean patients and healthy volunteers. Therefore, researchers should take into account that external joint loading does not predict internal loading entirely.

Personalisation of maximal muscle force by means of scaling or imaging can aid in more accurate models. Strength scaling is straightforward and can be implemented in clinical practice; whilst imaged based models are more accurate, but have some disadvantages (e.g. time consuming and expensive) which hamper implementation in clinical practice. The level of personalisation in musculoskeletal models should be carefully considered for its specific purpose, taking into account the accuracy that is needed versus the given effort.

